

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 116**

51 Int. Cl.:

E01C 7/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2011 E 11715585 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.10.2014 EP 2556193**

54 Título: **Mezcla bituminosa de altas prestaciones para calzada y calzada de rodadura**

30 Prioridad:

06.04.2010 FR 1052595

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

04.02.2015

73 Titular/es:

**EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS (100.0%)
2, rue Hélène Boucher
93300 Neuilly Sur Marne, FR**

72 Inventor/es:

**KRAFFT, SERGE y
OLARD, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 528 116 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Mezcla bituminosa de altas prestaciones para calzada y calzada de rodadura

5 La presente invención hace referencia a los materiales para la construcción de calzadas de carretera o plataformas industriales y se refiere, en particular, a las mezclas bituminosas utilizadas para fabricar tales calzadas y, asimismo, se refiere a las calzadas obtenidas gracias a estas mezclas bituminosas.

De manera más precisa, la invención tiene por objeto una mezcla bituminosa destinada en particular a la fabricación de las capas de asiento de las calzadas o plataformas industriales, como también de las capas interpuestas entre el balasto y la plataforma de soporte de vías ferroviarias.

10 Esta capa de asiento debe aunar, por una parte, muy buenas características mecánicas y en particular un importante módulo de rigidez para poder soportar cargas considerables y, por otra, un buen comportamiento a la fatiga para evitar la creación y la propagación de fisuras y prestar así a dicha capa de asiento una buena durabilidad; tal mezcla bituminosa descrita en el documento EP0760386A se obtiene a partir de un conjunto de áridos y de un ligante, por ejemplo bituminoso. Las mezclas bituminosas del tipo conocido contienen una cantidad de ligante nada desdeñable, lo cual conlleva un elevado coste de obtención.

15 Además, debe reducirse cuanto sea posible el tiempo necesario para la puesta en obra de la capa de asiento con el propósito de disminuir el tiempo necesario para la rehabilitación de las calzadas, al objeto de disminuir las molestias ocasionadas por las obras de rehabilitación de calzada.

20 Se ha puesto de manifiesto la utilidad de tratar de disminuir el coste de tales mezclas bituminosas al propio tiempo que se conservan las muy buenas características de rigidez y de resistencia a la fatiga. Se ha puesto asimismo de manifiesto la utilidad de reducir el tiempo necesario para la puesta en obra de la capa de asiento, y acelerar así la nueva puesta en servicio de la calzada.

A tal efecto, la invención tiene por objeto una mezcla bituminosa para capa de asiento o capa intermedia de calzada de carretera o de autopista, o para plataformas industrial, portuaria o aeroportuaria, como también para subbalasto de vía ferroviaria,

25 dicha mezcla bituminosa se compone de un conjunto de áridos recubiertos con al menos un ligante hidrocarbonado,

- en la que el conjunto de áridos representa más del 95 % en peso de la mezcla bituminosa tras la compactación y como máximo el 5 % de ligante hidrocarbonado,

- en la que el conjunto de áridos comprende una estructura (esqueleto) granular que comprende varias fracciones granulares d/D, estando definida cada fracción granular por un calibre inferior (d) y un calibre superior (D),

30 - en la que el conjunto de áridos comprende una primera fracción granular d1/D1, que tiene como media una primera media dm1, con una segunda fracción granular d2/D2 que tiene como media una segunda media dm2,

- en la que el conjunto de áridos comprende una tercera fracción granular d3/D3 comprendida entre las fracciones granulares primera y segunda, que tiene como calibre inferior d3 el calibre superior D1 de la primera fracción granular y que tiene como calibre superior D3 el calibre inferior d2 de la segunda fracción granular,

35 - en la que la tercera fracción granular presenta un índice de peso respecto al peso del conjunto de áridos, índice este nombrado como 'P3',

- en el que el ancho de la tercera fracción granular D3-d3, definitorio de un ancho relativo (D3-d3)/D2 con relación al calibre superior (D2) de la segunda fracción granular, siendo dicho ancho relativo superior al 20 % de D2,

40 - en el que la relación entre el índice de peso P3 de la tercera fracción granular respecto a su ancho relativo es inferior a 0,4, a saber:

$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \leq 0,4$$

por lo cual se maximiza el número de contactos entre los áridos de la segunda fracción granular d2/D2,

- en el que la mezcla bituminosa comprende, tras la compactación, un porcentaje de vacío de menos del 10 %, e incluso menos del 8 %, e incluso preferiblemente menos del 6 %,

45 - en el que el ligante hidrocarbonado es un ligante hidrocarbonado modificado mediante adición de polímeros y/o de aceite, y/o tratado por soplado y/o tratado por espumación o por emulsión,

por lo cual el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa, una vez compactada, es superior a 9000 MPa, y la

ES 2 528 116 T3

resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa, una vez compactada, es superior a 90 microdeformaciones.

En diversas formas de realización de la invención, se puede además recurrir ocasionalmente a una y/u otra de las siguientes disposiciones:

- 5 - la relación entre la primera media d_{m1} y la segunda media d_{m2} es inferior a 0,33 y, aún más preferentemente, inferior a 0,25;
- el ancho de la tercera fracción granular D_3-d_3 es superior al 30 % de D_2-d_1 y, aún más preferentemente, superior al 40 %;
- la relación entre el índice de peso (P3) de la tercera fracción granular respecto a su ancho relativo es inferior a 0,25, a saber:

$$10 \quad \frac{P_3}{(D_3 - d_3) / D_2} \leq 0,25$$

- la relación entre el índice de peso (P3) de la tercera fracción granular respecto a su ancho relativo es superior a 0,10, a saber:

$$\frac{P_3}{(D_3 - d_3) / D_2} \geq 0,10$$

- 15 - el ligante hidrocarbonado presenta una penetración con aguja, medida a 25 °C, con arreglo a la norma EN 1426, superior a 30 décimas de milímetro;

- la resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa, una vez compactada, medida a una temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz según la norma NF EN12697-24 en modo de flexión a 2 puntos sobre probetas trapezoidales, es superior a 110 microdeformaciones y, con carácter preferente, superior a 130 microdeformaciones;

- 20 - el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa, una vez compactada, medido a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz según la norma NF EN12697-26, es superior a 11 000 MPa y, con carácter preferente, superior a 14 000 MPa;

- el ligante hidrocarbonado está desprovisto de fibras;

- la mezcla bituminosa comprende además una cuarta fracción granular d_4/D_4 (14) y una quinta fracción granular d_5/D_5 (15) comprendida entre las fracciones granulares segunda y cuarta, que tiene como calibre inferior d_5 el calibre superior D_2 de la segunda fracción granular y que tiene como calibre superior D_5 el calibre inferior d_4 de la cuarta fracción granular, el ancho de la quinta fracción granular es superior al 20 % del calibre superior D_4 , la quinta fracción granular (15) presenta un peso relativo (P5) del peso del conjunto de áridos (2) tal que

$$\frac{P_5}{(D_5 - d_5) / D_4} \leq 0,6$$

- 30 - la proporción en peso del ligante hidrocarbonado (3) en la mezcla bituminosa (1) es como máximo igual al 4,5 %.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a una calzada que incluye al menos una capa de asiento o intermedia que comprende una mezcla bituminosa tal y como se ha definido anteriormente.

- 35 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de fabricación de una mezcla bituminosa para capa de asiento o capa intermedia de calzada de carretera o de autopista, o para plataformas industrial, portuaria o aeroportuaria, como también para subbalasto de vía ferroviaria,

estando compuesta dicha mezcla bituminosa por un conjunto de áridos recubiertos con al menos un ligante hidrocarbonado, en el que el conjunto de áridos comprende una estructura granular que comprende varias fracciones granulares d/D , estando definida cada fracción granular por un calibre inferior (d) y un calibre superior (D), comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas, en un orden indiferente:

- 40 a) proporcionar áridos de una primera fracción granular d_1/D_1 ,
- b) proporcionar áridos de una segunda fracción granular d_2/D_2 ,

siendo separadas dichas fracciones granulares primera y segunda por una tercera fracción granular d_3/D_3 que tiene

5 como calibre inferior d3 el calibre superior D1 de la primera fracción granular y que tiene como calibre superior D3 el calibre inferior d2 de la segunda fracción granular, en el que la tercera fracción granular presenta un índice de peso (P3) respecto al peso del conjunto de áridos, en el que el ancho de la tercera fracción granular D3-d3, definitorio de un ancho relativo (D3-d3)/D2 con relación al calibre superior (D2) de la segunda fracción granular, siendo dicho ancho relativo superior al 20 % de D2, en el que la relación entre el índice de peso (P3) de la tercera fracción granular respecto a su ancho relativo es inferior a 0,4, a saber:

$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \leq 0,4$$

10 c) añadir ligante hidrocarbonado nuevo hasta obtener un ligante hidrocarbonado total de peso inferior al 5 % en peso de la mezcla, siendo el ligante hidrocarbonado un ligante hidrocarbonado modificado por incorporación de polímeros y/o de aceite, y/o tratado por soplado y/o tratado por espumación y/o tratado por emulsión,

d) mezclarlo todo.

En diversas formas de realización de la invención, se puede además recurrir ocasionalmente a una y/u otra de las siguientes disposiciones:

15 - las fracciones granulares primera y segunda incluyen una proporción de áridos reciclados y el ligante hidrocarbonado total comprende una fracción de ligante hidrocarbonado nuevo y una fracción de ligante hidrocarbonado procedente de los áridos reciclados;

- el procedimiento incluye adicionalmente las siguientes etapas:

e) se extiende la mezcla bituminosa sobre una superficie, por ejemplo con al menos una extendedora,

f) se compacta dicha mezcla bituminosa, por ejemplo con al menos un compactador,

20 por lo cual la mezcla bituminosa comprende un porcentaje de vacío de menos del 10 %, e incluso menos del 8 %, e incluso preferiblemente menos del 6 %, y por lo cual el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa es superior a 9000 MPa a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz, y la resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa es superior a 90 microdeformaciones a una temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz.

25 Otros aspectos, propósitos y ventajas de la invención se irán poniendo de manifiesto con la lectura de la siguiente descripción de varias formas de realización de la invención, dadas a título de ejemplos no limitativos. La invención se comprenderá mejor asimismo con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 es una vista general de una calzada de rodadura que incluye una capa de asiento basada en una mezcla bituminosa según la invención,

la figura 2 es un detalle en planta de la mezcla bituminosa de la figura 1,

30 la figura 3 es un detalle en perspectiva de la mezcla bituminosa de la figura 1,

la figura 4 es un esquema que ilustra la distribución de las dimensiones del esqueleto granular de la mezcla bituminosa de la figura 1, según una primera y una segunda formas de realización de la invención, y

la figura 5 es un esquema que ilustra la distribución de las dimensiones del esqueleto granular según una tercera forma de realización.

35 En las diferentes figuras, las mismas referencias designan elementos idénticos o similares.

La figura 1 muestra una calzada de rodadura 50 según la invención, cuya estructura comprende, de abajo arriba:

- una plataforma 51 que descansa en el suelo 56,

- una capa de asiento 5 situada por encima de la plataforma 51, subdividiéndose ocasionalmente dicha capa de asiento 5 en una subbase 5a y una capa de base 5b,

40 - y un firme 53 situado por encima de la capa de asiento 5 y que tiene una superficie superior apta para recibir la circulación y la rodadura de los vehículos, subdividiéndose ocasionalmente dicho firme en una capa intermedia 55 y la capa de rodadura 54.

La estructura de calzada 50, y muy particularmente la capa de asiento 5, debe soportar una pluralidad de sollicitaciones:

45 - sollicitaciones mecánicas directas procedentes de las cargas rodantes del tráfico de vehículos,

- solicitaciones termo-físicas originadas por las variaciones de temperatura y los efectos de las heladas, también denominadas tensiones térmicas,

5 - solicitaciones químicas ejercidas por los fluidos derramados sobre la calzada, especialmente las aguas de lluvia, los vertidos de los vehículos (emisiones de escape, pérdida de aceite y de fluidos), las sales de tratamiento antihielo, e incluso objetos o fluidos caídos por accidente sobre la calzada.

La calzada, y en particular la capa de asiento 5, debe presentar características mecánicas suficientes para evitar la formación de roderas y de fisuras y asegurar así una satisfactoria durabilidad de la calzada. Consecuentemente, es un objetivo de la capa de asiento presentar un módulo de rigidez muy elevado y un muy buen comportamiento a la fatiga, características estas que tienen entrambas tendencia a ser antinómicas.

10 La firma solicitante ha desarrollado una mezcla bituminosa 1 particularmente ventajosa en lo referente a la rigidez y al comportamiento a la fatiga, a la vez que tiene un coste muy atrayente y, por otro lado, una excelente aptitud al reciclado, destinada en particular a la obtención de las capas de asiento 5, pero que, no obstante, puede ser asimismo utilizada para la capa intermedia 55 del firme 53.

Esta mezcla bituminosa 1 comprende:

15 - un conjunto de áridos 2 que tiene una distribución de dimensiones discontinua, tal como se describirá seguidamente,

- un ligante hidrocarbonado 3, preferentemente modificado por adición de polímeros y/o de aceite, y/o tratado por soplado y/o por espumación o por emulsificación, lo cual se describirá más adelante.

20 Los áridos que componen el conjunto de áridos 2 son fragmentos sólidos elaborados a partir de materiales nuevos o de materiales reciclados. Los áridos nuevos son bien naturales, con origen en graveras o canteras, o bien artificiales, provenientes de escorias de fundición, por ejemplo.

Los áridos procedentes del reciclado provienen por ejemplo del fresado de capas de rodadura de mezcla, de machaqueo de placas de mezcla, de los residuos o trozos de placas de mezcla y de los excedentes de producción de mezcla.

25 La proporción de áridos reciclados en el conjunto de áridos 2 puede variar del 0 % al 100 % según la invención, en función de la disponibilidad de tales áridos de reciclado.

Es de señalar que estos áridos de reciclado pueden estar recubiertos con ligante hidrocarbonado utilizado con anterioridad en la anterior puesta en obra, que ha sido fresada para su reciclado.

30 Los áridos responden por ejemplo, y sin carácter limitativo, a las normas europeas EN 13043, EN 12620, EN 13108-8.

Esqueleto granular

35 Tal como se representa en la figura 4, el conjunto de áridos 2 comprende una distribución de áridos de diferentes tamaños, que habitualmente se denomina con el término 'estructura granular' o 'esqueleto granular', comprendiendo el conjunto de áridos 2 al menos tres fracciones granulares (d/D) 11, 12, 13, estando definida cada fracción granular por un calibre inferior (d) y un calibre superior (D).

Una primera fracción granular d1/D1 (11) comprende áridos finos cuya dimensión está comprendida entre d1 y D1, pudiendo ser o no d1 igual a 0. Si d1 no es igual a 0, entonces hay presente otra fracción granular 10 comprendida entre 0 y d1 y puede contener lo que habitualmente se conoce con el término de 'filler' y 'ultrafinos'.

40 La primera fracción granular d1/D1 (11) presenta una primera media dm1, que se define por ser el valor para el cual el 50 % del peso de áridos de esta fracción granular son más pequeños que dm1.

Típicamente, en la primera forma de realización de la invención, esta primera fracción tiene como calibre inferior d1 = 0,125 mm y calibre superior D1 = 4 mm, y su media puede valer típicamente dm1 = 2 mm. Esta primera fracción granular habitualmente contiene una considerable cantidad de arenas, cuyos granos tienen dimensiones inferiores a 2 mm.

45 Una segunda fracción granular d2/D2 (12), denominada 'fracción granular superior', comprende áridos cuya dimensión está comprendida entre d2 y D2 y presenta una segunda media dm2, que se define por ser el valor para el cual el 50 % del peso de áridos de esta fracción granular son más pequeños que dm2.

50 Típicamente, en la primera forma de realización de la invención, esta segunda fracción tiene como calibre inferior d2 = 10 mm y calibre superior D2 = 14 mm y su media puede valer típicamente dm1 = 12 mm. En esta forma de realización de la invención, D2 hace las veces de extremo superior de los calibres de áridos, siendo muy escasa, con arreglo a las normas EN13043 y EN 933-1, la parte de áridos que sobrepasa el calibre D2.

Una tercera fracción granular d_3/D_3 (13), llamada fracción faltante o cuasi-faltante, comprende pocos áridos, teniendo dichos áridos una dimensión comprendida entre d_3 y D_3 .

Típicamente, en la primera forma de realización de la invención, esta tercera fracción tiene como calibre inferior $d_3 = 4$ mm y calibre superior $D_3 = 10$ mm.

- 5 En estas condiciones, para la primera forma de realización de la invención, el ancho de la tercera fracción granular vale $\Delta_3 = D_3 - d_3 = 6$ mm; resulta interesante compararlo con el ancho total del conjunto de áridos $D_2 - 0 = 14$ mm: entonces el ancho relativo (sin dimensión) de la tercera fracción granular vale $\Delta_3/D_2 = 0,428$, esto es, el 42,8 %. Igualmente, la relación entre la primera media dm_1 y la segunda media dm_2 se establece en 2 mm / 12 mm, esto es, $0,166$.
- 10 Por lo tanto, la discontinuidad inducida en el esqueleto granular para la tercera fracción, llamada 'faltante', puede estar caracterizada por dos nociones, por separado o conjuntamente:
- el ancho relativo de esta fracción Δ_3/D_2 ,
 - la relación de las medias de las fracciones adyacentes dm_1/dm_2 .

- 15 Varias implementaciones de este tipo de esqueleto granular han demostrado que, ventajosamente, la relación entre la primera media dm_1 y la segunda media dm_2 debía ser inferior a $0,33$ y aún más preferentemente, inferior a $0,25$. Igualmente, se ha descubierto que el ancho relativo de la tercera fracción granular $(D_3 - d_3)/D_2$ debía ser superior al 20 %, preferiblemente superior al 30 %, y aún más preferentemente, superior al 40 %.

- 20 Además, la segunda fracción granular representa una proporción del 40 % al 60 % del peso del conjunto de los áridos 2, y la primera fracción granular representa una proporción del 35 % al 45 % del peso del conjunto de los áridos 2, estando ocupado el resto por las partículas ultrafinas y fillers y por la cantidad mínima que se halla presente en la tercera fracción granular.

En efecto, ventajosamente, de acuerdo con la primera forma de realización de la invención, la tercera fracción granular (fracción faltante) representa un índice de peso (P_3) respecto al peso del conjunto de los áridos 2, siendo este índice (P_3) inferior al 15 % del peso del conjunto de los áridos 2.

- 25 Esta cantidad residual de áridos en la fracción llamada 'faltante' es el resultado especialmente de las operaciones industriales o de laboratorio de sucesivo tamizado conocidas en la técnica, que presentan ciertas imperfecciones o tolerancias (cf. norma EN 933-1).

- 30 Claro es que, de acuerdo con la invención, es preferible tener un índice de peso (P_3) pequeño, de manera aún más preferente menos del 10 % del peso del conjunto de los áridos 2 y de manera todavía más preferente, menos del 5 % del peso del conjunto de los áridos 2.

La firma solicitante ha determinado que este índice de peso podría interrelacionarse con el ancho relativo de la fracción granular faltante mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{P_3}{(D_3 - d_3) / D_2} \leq 0,4 \quad (\text{Ec.1}).$$

- 35 Para el primer ejemplo descrito en la primera forma de realización, esta relación vale $14/42,8 = 0,33$, tal como se desprende de la Tabla 1 del Anexo.

Preferiblemente, cuando la discontinuidad es más neta, el peso residual en la fracción faltante es más ventajoso y es tal que:

$$\frac{P_3}{(D_3 - d_3) / D_2} \leq 0,25 \quad (\text{Ec. 2}).$$

- 40 El efecto técnico de este ingenioso reparto, caracterizado por una de las ecuaciones Ec. 1 o Ec. 2 anteriormente mencionadas, lleva a maximizar las posibilidades de contactos mutuos entre los áridos de la fracción granular superior, tal y como se ilustra en las figuras 2 y 3. Los áridos 20 de la fracción granular superior 12 pueden estar en contacto 6 con áridos 20 del mismo calibre, ya que los áridos del tamaño intermedio (fracción faltante) tienen poca o ninguna presencia. Los áridos finos 21, pertenecientes a la primera fracción granular 11, se alojan en los intervalos 4 entre los áridos gruesos 20, sin impedir que estos últimos entren en contacto mutuamente.

- 45 Estos múltiples contactos entre los áridos gruesos 20 confieren a la mezcla un módulo de rigidez muy elevado, pese a la presencia de una delgada capa de ligante 3 que se detallará más adelante. Ventajosamente de acuerdo con la invención, se obtiene, tras la compactación, una mezcla bituminosa que tiene un módulo de rigidez superior a

9000 MPa, e incluso superior a 11 000 MPa, y aún más preferentemente, superior a 14 000 MPa. Las medidas del módulo de rigidez expresadas en el presente documento están realizadas generalmente a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz. Para los procedimientos de medida del módulo de rigidez, se puede consultar la norma NF EN12697-26. Los valores del módulo de rigidez pueden ser determinados asimismo a partir de la norma AASHTO TP 62-03 a 70 °F (21,11 °C) y 10 Hz.

En lo que a la discontinuidad introducida por la tercera fracción granular se refiere, se ha puesto de manifiesto además que, para evitar un conocido fenómeno llamado 'de segregación', en el cual se produce una cierta separación entre los áridos gruesos y los finos, podía ser perjudicial que la tercera fracción granular estuviera totalmente vacía. En efecto, la presencia de una cantidad mínima de áridos de tamaño intermedio mejora la homogeneidad de la mezcla del esqueleto granular y evita el fenómeno de segregación, esta cantidad mínima se expresa mediante la siguiente relación:

$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \geq 0,10 \text{ (Ec. 3).}$$

El esqueleto granular anteriormente descrito puede obtenerse según procedimientos de tamizado sucesivo y selectivo bien conocidos en la técnica y no descritos en detalle en el presente documento.

La tabla dada en el Anexo (Tabla 1) al final de la presente memoria descriptiva facilita cuatro ejemplos de esqueletos granulares (nombrados 'HP1' a 'HP4') según la primera forma de realización de la invención, en comparación con dos mezclas testigo (quinta y sexta columnas). En la Tabla 1, se ve que, para los ejemplos representados, el peso relativo de la tercera fracción granular (material que pasa entre los tamices de 4 y 10) varía entre el 12 % y el 15 %, comparado con el 26 al 30 % de las mezclas testigo, lo cual es acorde con la relación definida por 'Ec. 1' y 'Ec. 3' antes señaladas.

Ligante hidrocarbonado

El ligante hidrocarbonado 3 comprende un componente principal, preferentemente un betún, pero también puede ser una mezcla de hidrocarburos largos equivalentes de síntesis o procedente de materia vegetal.

El ligante puede ser también una mezcla de pez y de resina tal y como se describe en las solicitudes FR07/02927 y PCT/FR2008/000556 de la firma solicitante.

El ligante hidrocarbonado 3, también denominado 'ligante hidrocarbonado total' puede componerse de una fracción de ligante hidrocarbonado nuevo y de una fracción de ligante hidrocarbonado reciclado, que recubre los áridos reciclados.

Dado que la debida rigidez se obtiene por causa de los múltiples contactos entre los áridos gruesos, ya no es útil, según la invención, utilizar, para la fracción de ligante hidrocarbonado nuevo, tal como se hacía en la técnica anterior, ligantes duros, en particular betunes duros, caracterizados por una penetración con aguja inferior a 30 décimas de milímetro con arreglo a la norma EN 1426 (como también ASTM Method D5) en las condiciones estándar de ensayo, en particular a 25 °C / 77 °F. Estos betunes duros constituían hasta entonces la solución de referencia para realizar calzadas sometidas a severas sollicitaciones y a tráfico intenso, presentando un alto módulo de rigidez y un alto comportamiento de fatiga. Sin embargo, la utilización de estos ligantes duros en la técnica anterior conllevaba los siguientes problemas:

- una cierta fragilidad en cuanto a fisuración térmica (con motivo de acoplamientos termomecánicos en el seno de la estructura de calzada) y en cuanto a resistencia a la propagación de grietas a baja temperatura (< 0 °C especialmente), con posibilidad de acarrear una fragilidad invernal de la calzada,
- la resistencia de fatiga con tales ligantes duros no alcanza en ciertos casos los niveles de pliegos de condiciones en vigor,
- el contenido de ligante en el seno de la mezcla es relativamente acusado ($\geq 5\%$ e incluso, las más de las veces, $\geq 5,5\%$) para compensar parcialmente los dos anteriores inconvenientes,
- los betunes duros dimanaban preferiblemente de ciertos tipos de petróleos pesados y precisan de una fabricación particular; los fabricantes petroleros han desarrollado 'recetas' de fabricación que recurren a sofisticadas unidades de destilación, valiéndose especialmente de los puntos de corte entre bases de betún,
- la disponibilidad industrial de los betunes duros es cada vez más limitada, sobre todo en período estival punta de obras de carreteras,
- finalmente, la aptitud al reciclado de los ligantes duros es limitada.

El ligante hidrocarbonado nuevo se mezcla con el esqueleto granular (y, por tanto, la fracción de ocasional ligante

hidrocarbonado reciclado) en una de las siguientes condiciones:

- a temperatura ambiente (generalmente < 40 °C),
 - a temperatura llamada semitemplada (entre 40 °C y 100 °C),
 - a temperatura llamada templada (entre 100 °C y 140 °C),
- 5 - en caliente (entre 140 °C y 190 °C).

Ventajosamente según la invención, no se utiliza un ligante duro. De acuerdo con la invención, la fracción de ligante hidrocarbonado nuevo utilizado puede ser modificada o tratada estratégicamente, en vistas a mejorar sus cualidades para la fabricación de la mezcla bituminosa, mediante uno de los siguientes procedimientos, con arreglo por ejemplo a la norma sobre los betunes EN 12597:

- 10 - el ligante hidrocarbonado puede ser 'modificado' mediante agregación de agentes químicos pertenecientes por ejemplo a las familias de los cauchos naturales, polímeros sintéticos, compuestos organometálicos, azufre y sulfuros; preferentemente, se utilizan copolímeros SB (estireno-butadieno), SBS (estireno-butadieno-estireno), SBS en estrella, SBR (estireno-butadieno-caucho), EPDM (etileno-propileno-dieno modificado), polipropileno (PP), los plastómeros como los EVA (copolímeros de polietileno-acetato de vinilo o de metilo), copolímeros de olefinas y de ésteres carboxílicos insaturados EBA (polietileno-acrilato de butilo), SEBS (copolímero de estireno, etileno, butileno y estireno), como también ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno);
- 15 - es de señalar que los agentes químicos antes referidos pueden provenir de los áridos de reciclado y, en tal caso, no es necesario a la fuerza añadir tales agentes químicos, pues ya están presentes en los áridos reciclados incorporados al esqueleto granular,
- 20 - el ligante hidrocarbonado puede ser 'oxidado' por soplado en caliente, procedimiento en el cual una unidad de soplado impele aire caliente sobre el ligante bruto que es transportado enfrentadamente, ligante este que se denomina más comúnmente 'ligante multigrado';
- el ligante hidrocarbonado puede ser 'espumado', por inyección a presión de agua fría y/o de aire frío;
- el ligante hidrocarbonado puede ser 'emulsionado', por adición de un líquido acuoso, ocasionalmente
- 25 complementado con un agente tensioactivo;
- el ligante hidrocarbonado puede ser 'fluxado' mediante adición de aceite.

Uno de los tratamientos seleccionado de entre los anteriormente descritos (o varios en combinación) contribuye a la debida resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa:

- 30 1) en el caso 'modificado', oxidado', 'fluxado', y ello cualquiera que sea la temperatura de fabricación y cualquiera que sea la forma (anhidro, en emulsión, en espuma), se aumenta sensiblemente el comportamiento a la fatiga del ligante y, por tanto, de la mezcla,
- 2) en el caso 'espumado', 'emulsionado', a temperatura de fabricación reducida (se considera únicamente la temperatura ambiente, semitemplada o templada según está definido anteriormente), se contribuye a disminuir el envejecimiento del ligante, lo cual contribuye de manera indirecta a un mejor comportamiento a la fatiga y una mayor
- 35 durabilidad del ligante y, por tanto, de la mezcla.

Al quedar excluidos los betunes puros por las citadas razones, el interés se centra en los ligantes que tienen una penetración con aguja superior a 30 décimas de milímetro con arreglo a la norma EN 1426 (o también ASTM Method D5) en las condiciones estándar de ensayo, en particular a 25 °C / 77 °F. Este nivel de penetración (≥ 30 décimas) asegura, por otro lado, una excelente aptitud al reciclado del ligante a largo plazo.

- 40 La Tabla 6 que se presenta en Anexo facilita las características principales de los ligantes utilizados en los ejemplos ilustrados de la invención.

En una estación de fabricación se mezcla una cierta cantidad de ligante hidrocarbonado nuevo así preparado con el esqueleto granular anteriormente definido, para obtener, teniendo en cuenta la fracción de ligante ya presente en los áridos reciclados, una cantidad de como máximo el 5,25 % del peso del conjunto de los áridos 2. Se obtiene así una

45 mezcla bituminosa que contiene al menos el 95 % en peso de áridos y como máximo el 5 % en peso de ligante hidrocarbonado 3, y aún más preferentemente, el 4,5 % en peso de ligante hidrocarbonado 3, según se indica en particular mediante los ejemplos detallados en la Tabla 1.

La escasa proporción relativa de ligante hidrocarbonado confiere un escaso coste a la mezcla bituminosa así obtenida.

- 50 La cantidad de ligante hidrocarbonado 3 puede caracterizarse asimismo por la noción de módulo de riqueza K que

seguidamente se aclara.

En primer lugar, se introduce la noción de superficie específica de los áridos, señalada con Σ y expresada en m^2/kg , es decir, la superficie desarrollada que tendrían los áridos equiparados con esferas. Para una mezcla granulométrica dada, la siguiente fórmula permite tener una aproximación de la superficie específica Σ :

$$5 \quad \Sigma = (0,17 G + 0,33 g + 2,3 S + 12 s + 135 f)/100, \text{ con}$$

G: porcentaje de gravilla gruesa (diámetro > 11 mm)

g: porcentaje de gravilla pequeña (calibre 6/11 mm)

S: porcentaje de arena gruesa (calibre 0,3/6 mm)

s: porcentaje de arenilla (calibre 0,08/0,3 mm)

10 f: porcentaje de filler (diámetro < 0,08 mm).

Esta ecuación se puede aproximar mediante:

$$\Sigma = (0,25 G + 2,3 S + 12 s + 150 f)/100, \text{ con:}$$

G: porcentaje de gravilla gruesa (calibre > 6,3)

S: porcentaje de arena gruesa (calibre 0,25/6,3)

15 s: porcentaje de arenilla (calibre 0,063/0,25)

f: porcentaje de filler (diámetro < 0,063),

fórmula que todavía puede simplificarse por aproximación como sigue:

$$\Sigma = 2,5 + 1,3 f$$

20 El contenido óptimo en ligante, señalado con 'P', función de la superficie específica de los áridos, viene dado por la siguiente fórmula experimental:

$$P = \alpha K \sqrt[5]{\Sigma}$$

siendo:

P: contenido en ligante (%)

α : factor dependiente del tipo de áridos (2,65/densidad aparente de los áridos)

25 Σ : superficie específica de los áridos (m^2/kg)

K: módulo de riqueza

K varía generalmente de 2,75, para las mezclas que dan el máximo de resistencia a la deformación, a 3,5 para las mezclas más flexibles.

30 Al objeto de poner en obra la capa de asiento 5, se extiende en primer lugar la mezcla bituminosa 1 sobre su soporte (plataforma o subbase, u, ocasionalmente, la capa de base), y luego se compacta la mezcla bituminosa con compactadores de rodillos o de neumáticos, como es sabido en la técnica.

Prestaciones resultantes

35 Tras la compactación, se obtiene una estructura tal como se ilustra en las figuras 2 y 3, siendo el coeficiente de vacío inferior al 10 %, e incluso inferior al 8 % y preferiblemente inferior al 6 %. Para los procedimientos de medida en laboratorio de la aptitud a la compactación, se puede consultar la norma NF EN12697-31, en particular en lo referente a la aptitud a la compactación con la prensa de cizalladura giratoria ('PCG') a 100 giros en el contexto de los ejemplos tratados en el presente documento.

40 El ligante hidrocarbonado 3 envuelve bien toda la superficie de los áridos de grueso calibre 20 (cf. figura 2). La presencia y la buena distribución del ligante hidrocarbonado 3 confiere una buena resistencia a la fatiga a la mezcla bituminosa así obtenida. Ventajosamente de acuerdo con la invención, la resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa, una vez compactada, es superior a 90 microdeformaciones, e incluso a 110 microdeformaciones, e incluso todavía a 130 microdeformaciones, y ello sin tener que recurrir, en el ligante hidrocarbonado, a la agregación de fibras. Las medidas de resistencia a la fatiga expresadas en el presente documento están realizadas

generalmente a una temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz. Para los procedimientos de medida de la resistencia a la fatiga, se puede consultar la norma NF EN12697-24 de ensayo a flexión 'a dos puntos' sobre probetas trapezoidales. Una alternativa es la norma AASHTO T321 de ensayos a flexión 'a cuatro puntos' sobre probetas prismáticas, a 68 °F (20 °C) y 10 Hz, pero los valores umbral de resistencia a fatiga son entonces de 250 microdeformaciones, e incluso 500 microdeformaciones, e incluso todavía 750 microdeformaciones.

Ventajosamente de acuerdo con la invención, tras la compactación, habida cuenta de la escasa proporción de ligante, al tener este último un coeficiente de calor específico (aproximadamente 2090 J/kg/°C) más elevado que el de los áridos (aproximadamente 700 J/kg/°C), la temperatura de la mezcla bituminosa 3 según la invención disminuye más deprisa que en el caso de mezcla tradicional de más acusado contenido en ligante, y ello tanto más cuanto que la conductividad del betún (aproximadamente 0,163 W/m/°C) es menor que la de los áridos (aproximadamente 0,9 a 2,2 W/m/°C).

Así, la capa de asiento 5 (u ocasionalmente la capa intermedia 55) se enfría más rápidamente y es más rápidamente susceptible de recibir la capa de rodadura 53. Consecuentemente, se puede reducir el tiempo necesario para la puesta en obra de la calzada y acelerar su nueva puesta en servicio. Se evitan así los problemas de cohesión y de capacidad portante insuficientes a corta edad de las mezclas de la técnica anterior, en particular las fabricadas y puestas en obra a temperatura llamada 'en caliente', 'templada' o 'semitemplada'.

Para las mezclas fabricadas y puestas en obra a temperatura ambiente, generalmente con ligantes 'espumados' o 'emulsionados', los problemas de cohesión y de capacidad portante insuficiente a corta edad quedan solucionados especialmente por el empleo los tipos de esqueletos granulares descritos en el presente documento y por las prestaciones obtenidas, en particular en cuanto a aptitud a la compactación y al módulo de rigidez.

Las prestaciones obtenidas se representan en la Tabla 2 del Anexo. La Tabla 2 indica las prestaciones obtenidas en función del tipo de ligante utilizado (cf. detalles de los ligantes en la Tabla 6), según los siguientes criterios cuantificados:

- aptitud a la compactación: esta queda cuantificada por un ensayo de referencia que utiliza una prensa de cizalladura giratoria 'PCG' según la norma NF EN 12697-31; los resultados obtenidos para los coeficientes de vacío varían entre el 4,6 % y el 10 %, acordes con los valores umbral de 10 %, 8 % y 6 % reivindicados,

- módulo de rigidez: este se evalúa según la norma NF EN12697-26 a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz, los valores del módulo de rigidez pueden ser determinados asimismo a partir de la norma AASHTO TP 62-03 a 70 °F (21,11 °C) y 10 Hz; los resultados obtenidos varían entre 10 500 MPa y 18 050 MPa, acordes con los valores umbral de 9000 MPa, 11 000 MPa y 14 000 MPa reivindicados,

- resistencia a fatiga: de acuerdo con la norma NF EN12697-24, a temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz, se obtienen resultados que varían entre 108 y 140 microdeformaciones, acordes con los valores umbral de 90 microdeformaciones, 110 microdeformaciones, 130 microdeformaciones reivindicados.

Segunda forma de realización

De acuerdo con una segunda forma de realización, el esqueleto granular se define por una tercera fracción granular (faltante) que tiene como calibre inferior $d_3 = 6,3$ mm y calibre superior $D_3 = 10$ mm, teniendo la primera fracción granular como extremo superior $D_1 = 6,3$ mm y siendo la segunda fracción granular idéntica a aquella de la primera forma de realización.

En estas condiciones, para la segunda forma de realización de la invención, el ancho de la tercera fracción granular vale $\Delta_3 = D_3 - d_3 = 3,7$ mm, entonces, el ancho relativo (sin dimensión) de la tercera fracción granular vale $\Delta_3/D_2 = 0,264$, esto es, el 26,4 %. Igualmente, la relación entre la primera media dm_1 y la segunda media dm_2 se establece en 2 mm / 12 mm, esto es, 0,166.

La tabla 3 dada en el Anexo (Tabla 3) al final de la presente memoria descriptiva facilita un ejemplo de un esqueleto granular ('HP5') según la segunda forma de realización de la invención, en comparación con una mezcla testigo (segunda columna). En la Tabla 2, se ve que, para el ejemplo representado, el peso relativo de la tercera fracción granular (material que pasa entre los tamices de 6,3 y 10 mm) vale 10 %, lo cual da un índice $P_3/\Delta_3red = 10/26,4 = 0,378$, lo cual es en todo acorde con la fórmula señalada con 'Ec. 1' antes expuesta.

Las prestaciones obtenidas (columna 'HP5') son en todo comparables con las obtenidas en el caso de la primera forma de realización de la invención, ilustradas en la Tabla 2. En particular en esta segunda realización, el módulo de rigidez es de 16 800 MPa y la resistencia a la fatiga es de 110 microdeformaciones, en las mismas condiciones de medida.

Tercera forma de realización

De acuerdo con una tercera forma de realización, el esqueleto granular está definido por la presencia de dos fracciones faltantes.

Haciendo referencia a la figura 5, además de las tres fracciones granulares ya aclaradas, el esqueleto granular comprende adicionalmente:

- una cuarta fracción granular (14) d_4/D_4 que es entonces la fracción granular superior (en lugar de la segunda) y

5 - una quinta fracción granular (15) d_5/D_5 , comprendida entre las fracciones granulares segunda y cuarta y que constituye una segunda fracción faltante.

De acuerdo con la tercera forma de realización, la primera fracción granular tiene como extremos $d_1 = 0,125$ mm y $D_1 = 2$ mm, la tercera fracción granular tiene como extremos $d_3 = 2$ mm y $D_3 = 6,3$ mm, la segunda fracción granular tiene como extremos $d_2 = 6,3$ mm y $D_2 = 10$ mm, la quinta fracción granular tiene como extremos $d_5 = 10$ mm y $D_5 = 14$ mm, y la cuarta fracción granular tiene como extremos $d_4 = 14$ mm y $D_4 = 20$ mm. Dicha quinta fracción granular constituye una segunda discontinuidad granular, que en los ejemplos ilustrados presenta del 10 al 12 % del peso total de la mezcla.

De acuerdo con la tercera forma de realización, el ancho de dicha quinta fracción granular es superior al 20 % del calibre superior D_4 (en el presente caso, el 20 %) y la quinta fracción granular (15) presenta un peso relativo (P_5) del peso del conjunto de áridos (2) tal que:

$$\frac{P_5}{(D_5 - d_5) / D_4} \leq 0,6 \quad (\text{Ec. 4}).$$

La Tabla 4 dada en el Anexo al final de la presente memoria descriptiva facilita un ejemplo de dos esqueletos granulares (nombrados 'HP6' y 'HP7') según la tercera forma de realización de la invención, en comparación con una mezcla testigo (tercera columna).

20 La tercera fracción granular (primera fracción faltante) representa, en ambos ejemplos HP6 y HP7 ilustrados, el 8 % del peso total de la mezcla y, consecuentemente, $\Delta_3/D_2 = 8/40 = 0,20$, lo cual es acorde con las ecuaciones Ec. 1 a Ec. 3.

Por otro lado, la quinta fracción granular (segunda fracción faltante) representa en el ejemplo HP6 ilustrado el 12 % del peso total de la mezcla y, consecuentemente, $\Delta_5/D_4 = 12/20 = 0,6$, lo cual es acorde con la ecuación Ec. 4 anteriormente reivindicada. En el ejemplo HP5, este valor vale $\Delta_5/D_4 = 10/20 = 0,5$, lo cual también es acorde con la anterior ecuación Ec. 4.

En la Tabla 5, se ven las prestaciones obtenidas por las mezclas 'HP6' y 'HP7' en comparación con las prestaciones de la mezcla testigo (tercera columna). Se obtienen módulos de rigidez superiores a 9000 MPa, comprendidos entre 12 300 MPa y 14 000 MPa. Se obtienen resistencias a la fatiga superiores a 90 microdeformaciones, comprendidas entre 109 y 118 microdeformaciones.

Así, la composición de la mezcla bituminosa es óptima para la fabricación y la puesta en obra de capa de asiento.

Obtiene además una excelente aptitud a la compactación y un reducido tiempo de puesta en obra de la calzada. Adicionalmente, se obtienen destacables prestaciones tanto desde el punto de vista de la durabilidad de la calzada como de su rigidez. Finalmente, desde el punto de vista ecológico, se puede minimizar el consumo de un betún de origen fósil y se puede maximizar la reutilización de áridos de reciclado.

Es de señalar que la invención no se limita a valores particulares para los extremos inferiores y superiores d_1 a d_3 y D_1 a D_3 , así como d_1 a d_3 y D_5 a D_5 , considerándose que entran en el campo de la presente invención cualesquiera valores que cumplan con las condiciones expuestas en particular en la reivindicación principal.

40 Es de señalar asimismo que la invención no queda limitada a una particular naturaleza mineral de áridos. En la primera forma de realización, los áridos tienen predominancia de diorita, en la segunda forma de realización, los áridos tienen predominancia de basalto y, en la tercera forma de realización, los áridos tienen predominancia de caliza dura.

ES 2 528 116 T3

Tabla 1: Ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") según la primera forma de realización de la invención

	Ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") según la primera forma de realización de la invención				Mezclas testigo estándar	
	Esqueleto HP 1	Esqueleto HP 2	Esqueleto HP 3	Esqueleto HP 4	Esqueleto testigo 1 Clase 2	Esqueleto testigo 2 EME clase 2
Coefficiente de áridos reciclados (%)	0	10	0	25	0	0
Cernido del tamiz (%)						
Tamiz (mm)						
16	100	100	100	99	100	100
14	96	96	96	91	97	98
12,5	86	87	86	76	91	93
10	54	56	53	53	70	75
8	44	46	43	47	59	64
6,3	43	45	43	45	53	56
4	40	41	40	41	44	45
3,15	38	39	38	38	41	41
2	33	33	33	31	36	34
1	23	24	23	23	25	23
0,5	17	18	17	17	17	16
0,25	14	14	13	13	13	12
0,125	11	11	11	11	10	9
0,063	8,4	8,7	8,1	8,4	7,4	6,7
Cernido entre los tamices de 4 y 10 mm (%)	14	15	13	12	26	30
Dosificación (%)						
Materiales						
10/14	57	50,8	57,3	43	36,1	29,7
6/10					12,4	15
4/6					13,5	18,9
0/4	14	12	12,5	11		
0/2	20,6	19,5	22	14	32,5	30
Filler	4,6	4,3	4	3,5	1,7	1,3
Reciclados 0/14		10		25		
Contenido en ligante de aportación	3,8	3,4	4,2	3,5	4,1	5,1

ES 2 528 116 T3

Contenido en ligante total (nuevo + reciclado)	3,8	3,9	4,2	4,8	4,1	5,1
Módulo de riqueza 'K'	2,5	2,6	2,8	3,1	2,8	3,6

Tabla 2: Prestaciones de los ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") de la Tabla 1

	Ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") según la primera forma de realización de la invención			
	Esqueleto HP 1	Esqueleto HP 2	Esqueleto HP 3	Esqueleto HP 4
Coefficiente de áridos reciclados (%)	0	10	0	25
Contenido de ligante total (nuevo + reciclado)	3,8	3,9	4,2	4,8
Módulo de riqueza 'K'	2,5	2,6	2,8	3,1
Aptitud a la compactación 'PCG' (Coeficiente de vacío % a 100 giros)				
Con Ligante 'BO'		-	4,8	4,9
Con Ligante 'BM'	5,8	6,8	4,6	6,1
Con Ligante 'BOM'	6,0	6,0	7,0	4,9
Con Ligante 'BOM2'	-	-	-	5,0
Con Ligante 'BE'	-	-	-	10,0
Módulo de rigidez (15 °C, 10 Hz)				
Con Ligante 'BO'		-	12100	11900
Con Ligante 'BM'	18050	15400	16610	15100
Con Ligante 'BOM'	-	-	-	11800
Con Ligante 'BOM2'	-	-	-	10500
Fatiga (10 °C, 25 Hz) Microdeformaciones (µε)				
Con Ligante 'BO'	-	-	115	130
Con Ligante 'BM'	-	110	108	124
Con Ligante 'BOM'				134
Con Ligante 'BOM2'				140

La información acerca de los ligantes 'BM', 'BO', 'BOM', 'BOM2', 'BE' se encuentra en la Tabla 6.

ES 2 528 116 T3

Tabla 3: Ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") según la segunda forma de realización de la invención

	Esqueleto HP5	Esqueleto testigo 2 GB Clase 2
Coeficiente de áridos reciclados (%)	20	20
Tamiz (mm)	Cernido del tamiz (%)	
20	100	100
16	97	98
14	96	98
12,5	81	91
10	59	78
8	52	63
6,3	49	53
4	44	46
3,15	42	43
2	36	37
1	26	26
0,5	20	18
0,25	15	14
0,125	12	10
0,063	9,9	8,0
Cernido entre los tamices de 6,3 y 10 mm (%)	10	25
Materiales	Dosificación (%)	
10/14	43,4	20
6/10		21
2/6	7	8,6
0/2	22,5	26
Filler	4	1,1
Reciclados 0/14	20	20
Contenido en ligante de aportación	3	3,3
Naturaleza del ligante	'BM'	'BP'
Contenido en ligante total (nuevo + reciclado)	4,2	4,4
Módulo de riqueza 'K'	2,8	3,0
Prestaciones obtenidas		
Aptitud a la compactación 'PCG' (Coeficiente de vacío % a 100 giros)	7,8	8,8
Módulo de rigidez (15 °C, 10 Hz)	16800	13600

ES 2 528 116 T3

	Esqueleto HP5	Esqueleto testigo 2 GB Clase 2
Fatiga (10 °C, 25 Hz) Microdeformaciones ($\mu\epsilon$)	110	89

La información acerca de los ligantes 'BP', 'BM' se encuentra en la Tabla 6.

Tabla 4: Ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") según la tercera forma de realización de la invención

	Esqueleto HP6	Esqueleto HP7	Esqueleto testigo 3 GB Clase 2
Coeficiente de áridos reciclados (%)	15	15	15
Cernido del tamiz (%)			
25	100	100	100
20	99	99	100
16	82	84	91
14	69	71	87
12,5	63	66	78
10	57	61	70
8	47	51	64
6,3	36	40	57
4	32	36	41
3,15	31	35	36
2	28	32	27
1	20	23	18
0,5	15	17	13
0,25	12	13	10
0,125	10	11	8
0,063	8,3	8,9	6,7
Cernido entre los tamices de 10 y 14 mm (%)	12	10	15
Cernido entre los tamices de 2 y 6,3 mm (%)	8	8	30
14/20	38,2	35,1	19,1
10/14			
6/14			15
6/10	18,5	17,5	
2/6			25
0/2	20,8	24,8	20

	Esqueleto HP6	Esqueleto HP7	Esqueleto testigo 3 GB Clase 2
Filler	4	4	2
Contenido en ligante de aportación	3,5	3,6	3,9
Naturaleza del ligante	'BO'	'BO'	'BP'
Contenido en ligante total (nuevo + reciclado)	4,0	4,1	4,4
Módulo de riqueza 'K'	2,5	2,6	2,9

La información acerca de los ligantes 'BO', 'BP' se encuentra en la Tabla 6.

Tabla 5: Prestaciones de los ejemplos de mezclas de altas prestaciones según la tercera forma de realización de la invención

	Ejemplos de mezclas de altas prestaciones ("EHP") según la primera forma de realización de la invención		
	Esqueleto HP6	Esqueleto HP7	Esqueleto testigo 3 Clase 2
Coefficiente de áridos reciclados (%)	15	15	15
Contenido en ligante total (nuevo + reciclado)	4,0	4,1	4,4
Módulo de riqueza 'K'	2,5	2,6	2,9
Aptitud a la compactación 'PCG' (Coeficiente de vacío % a 100 giros)			
Con Ligante 'BP'	-	-	6,8
Con Ligante 'BO'	3,8	2,8	-
Con Ligante 'BM'	3,8	2,8	-
Con Ligante 'BE'	-	8,5	-
Módulo de rigidez (15 °C, 10 Hz)			
Con Ligante 'BP'	-	-	11800
Con Ligante 'BO'	13000	12300	-
Con Ligante 'BM'	14000	12900	-
Fatiga (10 °C, 25 Hz) Microdeformaciones (µε)			
Con Ligante 'BP'	-	-	87
Con Ligante 'BO'	114	118	-
Con Ligante 'BM'	109	111	-

5

La información acerca de los ligantes 'BP', 'BM', 'BO', 'BE' se encuentra en la Tabla 6.

Tabla 6: Características de los ligantes utilizados en los diversos ejemplos de las formas de realización

Características de los ligantes utilizados en las diversas formas de realización				
	Naturaleza	Procedencia	Penetración (*)	Temperatura de puesta en obra
Ligante 'BP'	betún puro	ligante 35/50 de la refinería de BP Lavéra	38	en caliente
	El ligante 'BP' es el ligante utilizado en las mezclas de referencia de la técnica anterior			
Ligante 'BO'	betún 'oxidado'	ligante 35/50 multigrado de la refinería de BP Lavéra	37	en caliente
Ligante 'BM'	betún 'modificado'	ligante 35/50 de la refinería de BP Lavéra + 2,5 % de polímero SBS reticulado	36	en caliente
Ligante 'BOM'	betún 'oxidado' y 'modificado'	ligante 35/50 multigrado de la refinería de BP Lavera + 2,5 % de polímero SBS reticulado	30	en caliente
Ligante 'BOM2'	betún 'oxidado' y 'modificado'	ligante 100/150 de la refinería de BP Lavéra + 6 % de polímero SBS reticulado	62	en caliente
Ligante 'BE'	betún 'emulsionado'	- 60 % de betún 160/220 BP Lavéra, - 38,5 % de agua - 0,6 % de tensioactivo "Indulin GE 7" (Meadwestvaco) - 0,6 % de tensioactivo "Redicote 4875" (Akzo) - HCl al 0,3 % (ácido clorhídrico)	185	Ambiente (20 °C)

(*): Penetración expresada en décimas de milímetro, con arreglo a la norma EN 1426 (o también ASTM Method D5) en las condiciones estándar de ensayo, en particular a 25 °C / 77 °F.

5 En lo referente al ligante 'BE', esta penetración caracteriza al betún previo al tratamiento.

REIVINDICACIONES

1. Mezcla bituminosa (1) para capa de asiento (5) o capa intermedia de calzada de carretera o de autopista, o para plataformas industrial, portuaria o aeroportuaria, como también para subbalasto de vía ferroviaria,

5 - en la que dicha mezcla bituminosa (1) se compone de un conjunto de áridos (2) recubiertos con al menos un ligante hidrocarbonado (3),

- en la que el conjunto de áridos (2) representa más del 95 % en peso de la mezcla bituminosa (1) y, como máximo, el 5 % de ligante hidrocarbonado (3),

- en la que el conjunto de áridos (2) comprende una estructura granular que comprende varias fracciones granulares d/D, estando definida cada fracción granular por un calibre inferior (d) y un calibre superior (D),

10 - en la que el conjunto de áridos (2) comprende una primera fracción granular d1/D1 (11), que tiene como media una primera media dm1, con una segunda fracción granular d2/D2 (12) que tiene como media una segunda media dm2,

15 - en la que el conjunto de áridos comprende una tercera fracción granular d3/D3 (13) comprendida entre las fracciones granulares primera y segunda, que tiene como calibre inferior d3 el calibre superior D1 de la primera fracción granular y que tiene como calibre superior D3 el calibre inferior d2 de la segunda fracción granular,

- en la que la tercera fracción granular (13) presenta un índice de peso (P3) respecto al peso del conjunto de áridos (2),

- en la que el ancho de la tercera fracción granular D3-d3, definitorio de un ancho relativo (D3-d3)/D2 con relación al calibre superior (D2) de la segunda fracción granular, siendo dicho ancho relativo superior al 20 % de D2,

20 - en la que la relación entre el índice de peso (P3) de la tercera fracción granular (13) respecto a su ancho relativo es inferior a 0,4, a saber:

$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \leq 0,4$$

por lo cual se maximiza el número de contactos entre los áridos de la segunda fracción granular d2/D2 (12),

25 - en la que la mezcla bituminosa (1) comprende, tras la compactación, un coeficiente de vacío de menos del 10 %, e incluso menos del 8 %, e incluso preferiblemente menos del 6 %,

- en la que el ligante hidrocarbonado (3) es un ligante hidrocarbonado modificado por inclusión de polímeros y/o de aceite, y/o tratado por soplado y/o tratado por espumación o por emulsión,

30 por lo cual el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa (1), una vez compactada, es superior a 9000 MPa a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz, y la resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa, una vez compactada, es superior a 90 microdeformaciones a una temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz.

2. Mezcla bituminosa (1) según la reivindicación 1, en la que la relación entre la primera media dm1 y la segunda media dm2 es inferior a 0,33, y aún más preferentemente, inferior a 0,25.

3. Mezcla bituminosa (1) según la reivindicación 1, en la que el ancho de la tercera fracción granular D3-d3 es superior al 30 % de D2-d1, y aún más preferentemente, superior al 40 %.

35 4. Mezcla bituminosa (1) según la reivindicación 1, en la que la relación entre el índice de peso (P3) de la tercera fracción granular (13) respecto a su ancho relativo es inferior a 0,25, a saber:

$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \leq 0,25$$

5. Mezcla bituminosa (1) según la reivindicación 4, en la que la relación entre el índice de peso (P3) de la tercera fracción granular (13) respecto a su ancho relativo es superior a 0,10, a saber:

40
$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \geq 0,10$$

6. Mezcla bituminosa (1) según la reivindicación 1, en la que el ligante hidrocarbonado (3) presenta una penetración con aguja, medida a 25 °C con arreglo a la norma EN 1426, superior a 30 décimas de milímetro.

7. Mezcla bituminosa según la reivindicación 1, en la que la resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa, una vez compactada, medida a una temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz según la norma NF EN12697-24, es superior a 110 microdeformaciones y, con carácter preferente, superior a 130 microdeformaciones.

5 8. Mezcla bituminosa según la reivindicación 1, en la que el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa, una vez compactada, medido a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz según la norma NF EN12697-26, es superior a 11 000 MPa, y con carácter preferente, superior a 14 000 MPa.

9. Mezcla bituminosa según la reivindicación 1, en la que el ligante hidrocarbonado (3) está desprovisto de fibras.

10 10. Mezcla bituminosa (1) según la reivindicación 1, que comprende además una cuarta fracción granular d4/D4 (14) y una quinta fracción granular d5/D5 (15) comprendida entre las fracciones granulares segunda y cuarta, que tiene como calibre inferior d5 el calibre superior D2 de la segunda fracción granular y que tiene como calibre superior D5 el calibre inferior d4 de la cuarta fracción granular, en la que el ancho de la quinta fracción granular es superior al 20 % del calibre superior D4, en la que la quinta fracción granular (15) presenta un peso relativo (P5) del peso del conjunto de áridos (2) tal que

15
$$\frac{P5}{(D5 - d5) / D4} \leq 0,6$$

11. Mezcla bituminosa según la reivindicación 1, en la que la proporción en peso del ligante hidrocarbonado (3) en la mezcla bituminosa (1) es como máximo igual al 4,5 %.

12. Calzada que incluyendo al menos una capa de asiento o intermedia comprende una mezcla bituminosa (1) según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones.

20 13. Procedimiento de fabricación de una mezcla bituminosa (1) para capa de asiento (5) o capa intermedia de calzada de carretera o de autopista, o para plataformas industrial, portuaria o aeroportuaria, como también para subbalasto de vía ferroviaria,

25 estando compuesta dicha mezcla bituminosa (1) por un conjunto de áridos (2) recubiertos con al menos un ligante hidrocarbonado (3), en el que el conjunto de áridos (2) comprende una estructura granular que comprende varias fracciones granulares d/D, estando definida cada fracción granular por un calibre inferior (d) y un calibre superior (D), comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas, en un orden indiferente:

a) proporcionar áridos de una primera fracción granular d1/D1 (11),

b) proporcionar áridos de una segunda fracción granular d2/D2 (12),

30 siendo separadas dichas fracciones granulares primera y segunda (11, 12) por una tercera fracción granular d3/D3 (13) que tiene como calibre inferior d3 el calibre superior D1 de la primera fracción granular y que tiene como calibre superior D3 el calibre inferior d2 de la segunda fracción granular, en el que la tercera fracción granular (13) presenta un índice de peso (P3) respecto al peso del conjunto de áridos (2), en el que el ancho de la tercera fracción granular D3-d3, definitorio de un ancho relativo (D3-d3)/D2 con relación al calibre superior (D2) de la segunda fracción granular, siendo dicho ancho relativo superior al 20 % de D2, en el que la relación entre el índice de peso (P3) de la

35 tercera fracción granular (13) respecto a su ancho relativo es inferior a 0,4, a saber:

$$\frac{P3}{(D3 - d3) / D2} \leq 0,4$$

c) añadir ligante hidrocarbonado nuevo hasta obtener un ligante hidrocarbonado total de peso inferior al 5 % en peso de la mezcla (1), siendo el ligante hidrocarbonado (3) un ligante hidrocarbonado modificado por inclusión de polímeros y/o de aceite, y/o tratado por soplado y/o tratado por espumación o por emulsión,

40 d) mezclarlo todo.

14. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 13, en el que las fracciones granulares primera y segunda (11, 12) incluyen una proporción de áridos reciclados y en el que el ligante hidrocarbonado total comprende una fracción de ligante hidrocarbonado nuevo y una fracción de ligante hidrocarbonado procedente de los áridos reciclados.

45 15. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 14 que incluye además las siguientes etapas:

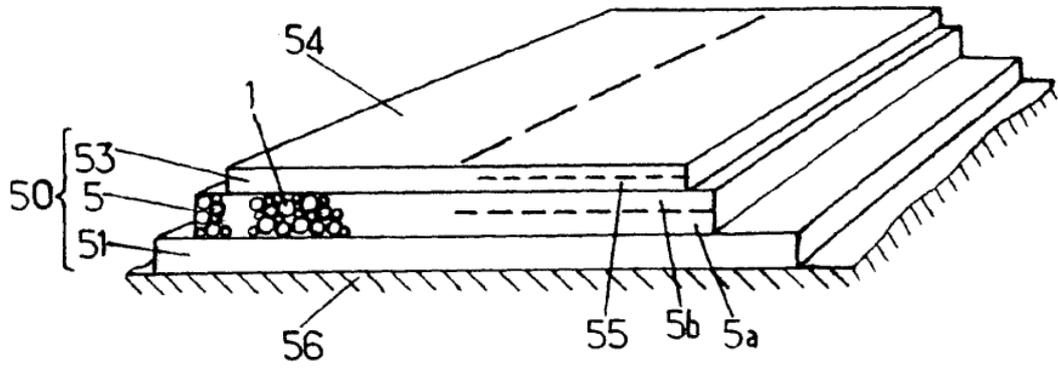
e) se extiende la mezcla bituminosa (1) sobre una superficie,

ES 2 528 116 T3

f) se compacta dicha mezcla bituminosa (1),

5 por lo cual la mezcla bituminosa (1) comprende un porcentaje de vacío de menos del 10 %, e incluso menos del 8 %, e incluso preferiblemente menos del 6 %, y por lo cual el módulo de rigidez de la mezcla bituminosa (1) es superior a 9000 MPa a una temperatura de 15 °C y a una frecuencia de 10 Hz, y la resistencia a la fatiga de la mezcla bituminosa es superior a 90 microdeformaciones a una temperatura de 10 °C y a una frecuencia de 25 Hz.

FIG.1.



Distribución granulométrica de grava

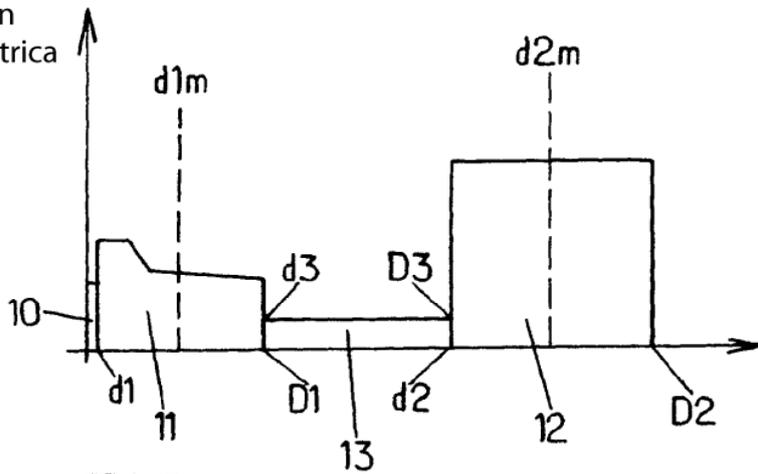


FIG.4.

Distribución granulométrica de grava

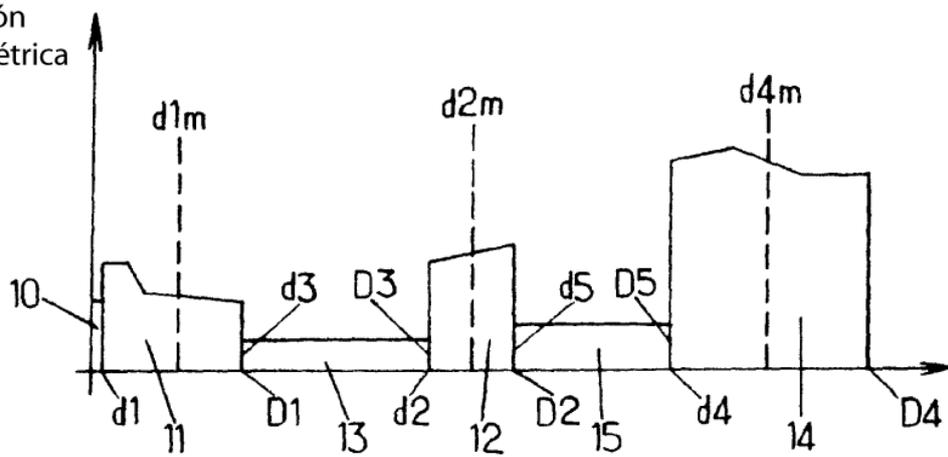


FIG.5.

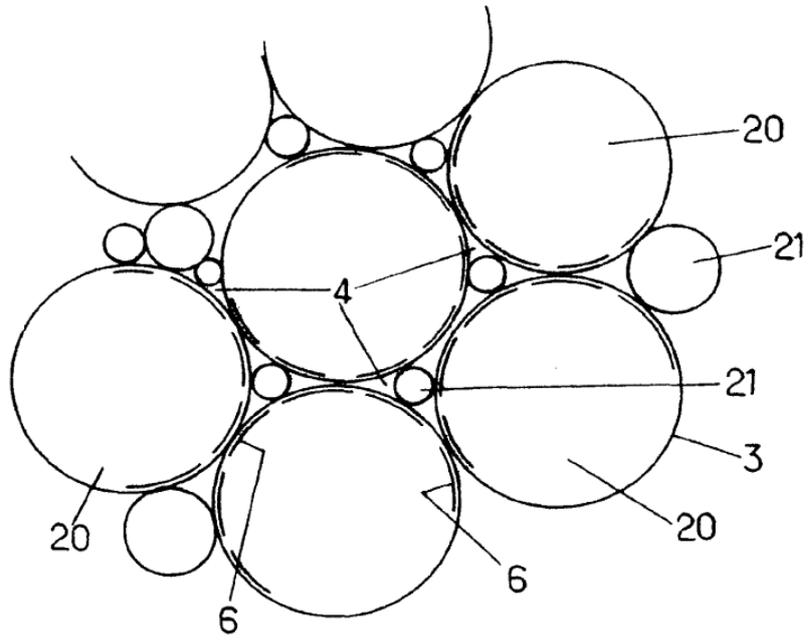


FIG. 2.

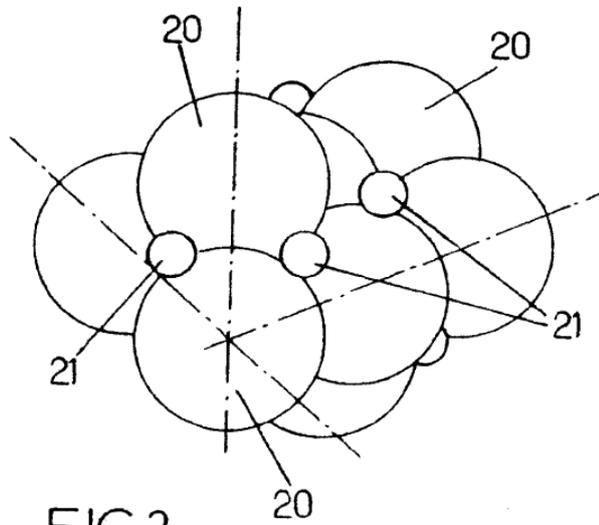


FIG. 3.